

Über die Qualität des
Streustrahlenanteils der bildgebenden
Strahlung bei Hartstrahltechnik

von

ARNULF BÖCKLEIN

Aus der Medizinischen Universitätsklinik Erlangen
Direktor: Prof. Dr. med. N. Henning

Über die Qualität des Streustrahlenanteils der bildgebenden
Strahlung bei Hartstrahltechnik.

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich - Alexander - Universität
zu
Erlangen

Vorgelegt von
ARNULF BÖCKLEIN
aus Nürnberg



Dekan: Professor Dr. F. H e i m

1. Referent: PD Dr. F r i k

2. Referent: Professor Dr. ~~H e i m~~ h

Korke

Tag der mündlichen Prüfung: 6. 4. 1959

Meinen lieben Eltern gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548210_0037

Inhaltsverzeichnis

	S e i t e
I. Einleitung	4 - 9
II. Aufgabenstellung	9
III. Versuchsanordnung	9 - 12
IV. Messergebnisse	12 - 17
V. Diskussion der Ergebnisse	17 - 23
VI. Zusammenfassung	23
VII. Literatur	24

Einleitung:

In den letzten Jahren hat die Hartstrahltechnik in der Röntgendiagnostik erheblich an Bedeutung gewonnen. Man versteht darunter die Benutzung von Spannungen über 100 kV zur Erzeugung von Röntgenstrahlen. Die Vorteile dieser Spannungserhöhung konnten experimentell bewiesen werden. (M a t t s o n , B u c h h e i m)

So zeigte sich, daß bei gleicher Röhrenbelastung mit steigender Aufnahmespannung die Ausbeute von Röntgenstrahlen bedeutend ansteigt. Gleichzeitig verbessert sich bei Verwendung harter Strahlen die Lichtausbeute in den Verstärkerfolien, nicht nur bei Verwendung von dicken, hochverstärkenden Folien, sondern auch bei dünnen, feinzeichnenden Folien.

Die Röhrenbelastung ist bei 120 kV infolge der besseren Strahlen- und Lichtausbeute nur noch etwa $1/4$ so groß wie bei 55 kV.

Ein weiterer Vorteil der Hartstrahltechnik ist die geringere Strahlenbelastung des Patienten. Zur Erreichung einer bestimmten Filmschwärzung ist eine bestimmte Dosis an Röntgenstrahlen notwendig. Diese "Filmdosis" ist die hinter dem Patienten austretende Strahlenmenge, das heisst die nach Durchgang durch den Patienten übrigbleibende Strahlenmenge. Durch die grössere Durchdringungsfähigkeit der harten Röntgenstrahlen wird der Patient an der Eintrittsseite der Strahlung bei gleichbleibender Austritts- oder Filmdosis mit einer wesentlich geringeren Dosis als bei der Weichstrahltechnik belastet. B u c h h e i m konnte zeigen, daß das Verhältnis Eintrittsdosis : Austrittsdosis gemessen an einem 15 cm starken Wasser-

phantom, von 60 bis 55 kV auf etwa 12 bei 120 kV absinkt. Bei verschiedener Objektdicke konnte experimentell nachgewiesen werden, daß die Abhängigkeit der Austrittsdosis von der Objektdicke für gleiche Einfallsdosis geringer als bei weichen Strahlen ist, wodurch sich der Belichtungsraum vergrößert.

Eine neuere Arbeit von C e n und F r i k über die Dosisverhältnisse bei Hartstrahlaufnahmen hat gezeigt, daß, obwohl die Gesamtstrahlenbelastung in jedem Falle unter der bei Weichstrahltechnik liegt, die Streustrahlenmenge örtlich über den üblichen Werten liegen kann. Diese örtliche höhere Strahlenbelastung kommt durch eine charakteristische Verteilung der Streustrahlen zustande. In unmittelbarer Nähe des Strahlenkegels und an der Oberfläche eines Streukörpers verhält sich die Streustrahlendosis bei Änderung der Strahlenqualität wie die Eintrittsdosis, während sie in der Tiefe und weitab vom Zentralstrahl bei steigender Härte der Röntgenstrahlen und gleichbleibender Austrittsdosis beträchtlich ansteigen kann. Diese Besonderheit in der räumlichen Dosisverteilung kann bei Aufnahmen der Thorax-Organen oder vom oberen Abdomen für die Gonadendosis von Bedeutung sein. Bei Aufnahmen des Abdomens beträgt die Gonadendosis jedoch selten mehr als 10 % gegenüber weichen Strahlen, was sich durchaus noch in erträglichen Grenzen hält. Unter Berücksichtigung der Einsparung an Volumendosis bei der Hartstrahltechnik kann dennoch gesagt werden, daß die Gesamtstrahlenbelastung für den Patienten bei Hartstrahlaufnahmen wesentlich geringer ist. Somit sind die Schädigungsmöglichkeiten für den Patienten im allgemeinen kleiner.

Die wichtigste Frage bei jeder Röntgen-Aufnahmetechnik ist natürlich die nach der zu erwartenden Bildgüte. Gewiss zeigt die Hartstrahlaufnahme Abweichungen von der Weichstrahlaufnahme, doch ist ihr diagnostischer Informationsinhalt in der Regel nicht kleiner, meist sogar grösser. Eine der bestechendsten Eigenschaften der Hartstrahlaufnahme ist die zu erzielende grosse Bildschärfe. Die zu einer Aufnahme nötige Bildschwärzung wird bei der Hartstrahltechnik durch die stärkere Durchdringungsfähigkeit der Strahlen und die grössere Ausbeute an Strahlen in der Röntgenröhre, sowie durch die stärkere Lichtausbeute in den Verstärkerfolien schon bei einem Bruchteil der sonst benötigten Aufnahmezeit erreicht. Dadurch werden Bewegungsunschärfen bei Aufnahme bewegter Organe weitgehend vermieden. Man arbeitet mit Belichtungszeiten, die den Momentaufnahmen der üblichen fotografischen Technik entsprechen. Auch bei Verwendung feinzeichnender Folien können trotz der erforderlichen höheren Filmdosis noch Bilder mit ausnehmend kleiner Bewegungsunschärfe erzeugt werden, was bei Weichstrahltechnik meist nicht möglich wäre. Weiterhin zeigte sich experimentell und in der Praxis, daß Dichte und chemische Zusammensetzung der untersuchten Objekte die Darstellung von Objekte-Details bei höheren Aufnahmespannungen anders als bei geringeren beeinflussen. Die durch die Unterschiede in der Ordnungszahl der Atome bedingten Schwärzungsdifferenzen werden in der Hartstrahltechnik geringer. Die Schwärzungsdifferenzen, die durch die verschiedenen Dichte der darzustellenden Objektteile bedingt sind, bleiben jedoch erhalten.

Es ist also bei Knochenaufnahmen (Muskulatur und Knochen unterscheiden sich wesentlich in der Ordnungszahl) eine Einbuße an Kontrast zu erwarten, wenn harte Strahlen zur

Aufnahme verwendet werden. Diese Einbuße kann nur bei bestimmten Aufnahmeobjekten in Kauf genommen werden. Bei Thorax-Aufnahmen zum Beispiel wirkt sich die Verringerung der durch die Ordnungszahl bedingten Kontraste insofern günstig aus, als insbesondere in den Lungenspitzenpartien die Überlagerung der Lungenzeichnung durch Knochenschatten geringer wird. Die Lungenzeichnung im Röntgenbild entsteht, wenn man von Kalkeinlagerungen im Lungengewebe absieht, ausschließlich durch Dichte-Kontraste, die nach den experimentellen Untersuchungen bei hohen Aufnahme-Spannungen praktisch vollständig erhalten bleiben. Tatsächlich stellen sich die Weichteil-Luftkontraste auf Hartstrahlaufnahmen noch in einem grösseren Umfang dar als bei Weichstrahlaufnahmen. Das Experiment zeigte, daß auch im Bereiche dichter Verschattungen noch Einzelheiten zu erkennen waren, ohne daß durch die stärkere Strahldurchdringungsfähigkeit Objektteile überstrahlt wurden, das heisst, durch Überbelichtung schlecht zu erkennen waren. Man kann infolgedessen auf einer Hartstrahlaufnahme weit mehr Einzelheiten erkennen als auf den üblichen Weichstrahlaufnahmen. F r i k und seine Mitarbeiter haben diesen Effekt so definiert: Bei der Hartstrahltechnik wird bei gleichem Bildumfang ein wesentlich grösserer Objektumfang darstellbar. Es genügt bei der Hartstrahltechnik meist eine Übersichtsaufnahme der Thoraxorgane um das pathologische Geschehen weitestgehend zu erfassen, Spezialaufnahmen werden sehr viel seltener nötig.

Eine besonders wichtige Frage in der Röntgenfotografie ist die nach der auftretenden Streustrahlung. Bei der üblichen Thorax-Aufnahmetechnik mit Spannungen zwischen 50 und 60 kV beträgt der Streustrahlenanteil an der

bildgebenden Strahlung etwa 50 bis 60 %. Dagegen ist der Anteil bei

80 kV	64 %	100 kV	68 %
125 kV	70 %	150 kV	72 %

- gemessen hinter 10 cm Wasser und bei einer Feldgröße von 30 x 30 cm.

Bei einer Schichtdicke von 20 cm Wasser steigt der Streustrahlenanteil bei 150 kV auf über 80 % (bei einer Feldgröße von 35 x 35 cm). Diese sehr hohen Streustrahlenmengen können durch geeignete Raster auf Werte, die dem

Streustrahlenanteil der Weichstrahltechnik entsprechen, herabgedrückt werden. So beträgt der Streustrahlenanteil bei Verwendung eines Rasters mit einem Schachtverhältnis von 7 : 1 bei 120 kV-Blendentechnik nur noch etwa 40 %, bei 150 kV und der gleichen Anordnung etwa 45 %, Werte also, die noch unter dem üblichen Streustrahlenanteil der Weichstrahltechnik liegen. Eine vollkommene Beseitigung der Streustrahlen gelingt nicht.

Es ist auch fraglich, ob eine vollkommene Unterdrückung der Streustrahlen sinnvoll wäre. G a j e w s k y betonte, daß gerade durch die Streustrahlen die hinter dichten Objekten geschwächte Primärstrahlung so verstärkt würde, daß manche Objektdetails über die Empfindlichkeitsschwelle angehoben würden und zur Darstellung auf den Film gelangten. Auch die Untersuchungen von F r i k und B u c h h e i m sprechen dafür, daß die Senkung des Streustrahlenanteils unter 30 % (bezogen auf die Messanordnung von Buchheim) den Bildumfang deutlich verringert. Obgleich die größere Durchdringungsfähigkeit der harten Strahlen bis zu einem gewissen Grade eine Erklärung für den anderen Bildcharakter der Hartstrahl-Lungenaufnahme,

also für die Darstellung eines größeren Objektumfanges bei gleichem Bildumfang, gibt, genügt diese Feststellung nicht zur Erklärung des genannten Phänomens. Infolgedessen beschränken sich alle bisherigen Arbeiten über die Anwendung der Hartstrahltechnik - für die Thoraxaufnahmen - auf die Darstellung vergleichender Patientenaufnahmen zum Beweis des größeren darzustellenden Objektumfanges.

Aufgabestellung :

Da der Streustrahlenanteil bei Hartstrahlaufnahmen größer ist als bei Weichstrahlaufnahmen, erscheint es nicht ausgeschlossen, daß neben der Quantität auch die Qualität der Streustrahlung für den geänderten Bildcharakter verantwortlich ist. Die früheren Untersuchungen über die Quantität der Streustrahlen (B u c h h e i m) und die Qualität der Austrittsstrahlung (S o u l t o g i a n n i s) bedürfen deshalb einer Ergänzung durch Messung der Qualität der Streustrahlung in Abhängigkeit von der Qualität der Einfallsstrahlung und der Objektdicke. Über derartige Untersuchungen soll im Folgenden berichtet werden.

Versuchsanordnung.

Die Untersuchungen wurden mit einem Tiefentherapie-Apparat "Stabilipan" der Firma Siemens-Reiniger-Werke AG., Erlangen ausgeführt, der bei konstanter Gleichspannung mit 50 bis 200 kV betrieben werden kann, und dabei maximal 20 mA liefert. Als Streukörper diente ein Wasserphantom aus Vinidur mit einem Innenmaß von 40 x 40 x 30 cm und einer Wandstärke von 4 mm. Das Wasserphantom wurde vertikal von oben bei einer Feldgröße von 40 x 40 cm durchstrahlt und dabei so angebracht, daß der Mittel-

punkt des Phantombodens 150 cm vom Brennpunkt der Röhre entfernt war. Die Primärstrahlung wurde dabei durch Auflegen einer 5 mm starken Bleiplatte von 7,6 cm Durchmesser auf die Wasseroberfläche so ausgeblendet, daß das gesamte Messvolumen im Röntgenshatten der Primärstrahlung lag. (Abb. 1)

Die Streustrahlenqualität wurde durch Messung der Halbwertschicht bestimmt. Dieses Verfahren ermöglicht zwar keine exakte spektrale Aufgliederung der gesamten Streustrahlung. Es ist aber das einzige, das ohne untragbar großen Aufwand die Bestimmung der Strahlenqualität im praxisnahen Experiment ermöglicht. Die Messanordnung zur Bestimmung der Halbwertschicht wurde in 35 cm Entfernung vom Phantomboden in der Verlängerung des Zentralstrahles angebracht.

Die Messung der Halbwertschicht wurde mit Ionisationskammern vorgenommen, die in einem vertikal angeordneten Aluminiumzylinder mit 2 mm starker Bleiverkleidung eingebracht wurden. Zur Verwendung gelangten die Becherkammern des Dosismessgerätes Jontodor der Firma Siemens-Reiniger-Werke AG., Erlangen. Für die Strahlung von 50 und 90 kV Erzeugerspannung wurden die 15 mm Kugelnkammern der "Physikalisch-technischen Werkstätten G.m.b.H., Freiburg im Breisgau" benutzt, die an einem Kondiometergerät der gleichen Firma ausgemessen wurden. Die Wellenlängenabhängigkeit der Kugelnkammern ergibt für den in Frage kommenden Strahlenqualitätsbereich nach Angaben von C e n und F r i k höchstens einen Korrekturfaktor von 1,3, sodaß dieser - bei den hier ausschließlich vorgenommenen Relativmessungen - vernachlässigt werden konnte. Für geringe Schichtdicken wurden auch bei weicheeren Strahlenqualitäten Vergleichsmessungen mit

beiden benutzten Messkammern vorgenommen, die praktisch keine Unterschiede ergaben. Infolgedessen kann auch die Wellenlängenabhängigkeit der Becherkammern für den vorliegenden Zweck vernachlässigt werden. Die Halbwertschicht wurde für 50, 90 und 120 kV in Aluminium und für die Spannungen 150 und 200 kV in Kupfer bestimmt. Als Umrechnungsfaktor zwischen den Schichtdicken der beiden Filtermaterialien wurde das Verhältnis 1 : 25 angenommen, das sich bereits bei anderen Messungen mit dem gleichen Apparat als das Richtigste erwiesen hat.

Die Halbwertschicht wurde durch Auflegen von Filtern entsprechender Dicke auf die dem Phantom zugewandte Öffnung des die Kammer tragenden Zylinders, gemessen. Der unterschiedliche Schrägeinfall wurde bei den Messungen nicht berücksichtigt, da er :

1. im Verlaufe der gesamten Messreihe gleich war, sodaß die Qualitätsänderung der Streustrahlen nicht beeinflußt wurde.

2. nur ungefähr bestimmt werden kann, sodaß durch seine Berücksichtigung höchstens eine Pseudogenauigkeit zu erreichen ist.

3. Strahlungen mit einem sehr großen Streuwinkel ohnehin mit der Messanordnung nicht erfaßt werden konnten.

Messergebnisse :

Die mit der geschilderten Versuchsanordnung gemessenen Halbwertschichten der Streustrahlung sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Wenn man die Halbwertschicht über der Wasserschichtdicke aufträgt (für die einzelne Strahlenqualität), so ergibt sich bei Primärstrahlenqualitäten aus dem Bereiche der sogenannten Weichstrahltechnik (bis 100 kV) eine mit der durchstrahlten Schichtdicke annähernd kontinuierlich zunehmende Dicke der Halbwertschicht der Streustrahlung. Im Bereiche der Hartstrahltechnik weist die Kurve der Streustrahlenqualität indessen, für alle untersuchten Spannungen bei etwas größeren Schichtdicken ein Minimum auf (Abb. 2). Dieses Minimum liegt für 120 kV bei etwa 6 cm Wasser und verschiebt sich mit zunehmender Härte der Primärstrahlen bis auf etwa 18 cm Wasserschicht. Die Abhängigkeit der Streustrahlenqualität von der Schichtdicke des durchstrahlten Objektes ist deshalb in der Hartstrahltechnik eine andere als bei der Weichstrahltechnik. Das unterschiedliche Verhalten der Streustrahlen bei verschiedenen Spannungen zeigt sich ebenso deutlich, wenn man die Halbwertschichten über der Spannung der Primärstrahlung aufträgt (Abb. 3). Insbesondere gilt dies für Wasserschichten von 2 - 10 cm Dicke, die in Abb. 4 dargestellt sind. In Dieser Abbildung ist deutlich erkennbar, daß sich die Halbwertschicht - Kurven für die verschiedenen Wasserschichten bei etwa 100 kV Primärstrahlung dergestalt überkreuzen, daß für niedrigere Spannungen ein

Anstieg der Streustrahlenhärte mit der Schichtdicke erfolgt, während für höhere Spannungen eine Abnahme festzustellen ist. Bei Darstellung in linearem Maßstab scheint die Abnahme der Streustrahlenhärte mit zunehmender Schichtdicke bei 200 kV sogar größer als die Zunahme bei niedrigeren Spannungen. Prozentual ist der Unterschied der Halbwertschicht der Primärstrahlung zwischen 2 - 10 cm durchstrahlter Wasserschicht jedoch bei 50 und 200 kV etwa gleich; er beträgt etwa 20 %. Auch bei 12 - 18 cm durchstrahlter Wasserschicht (Abb. 5) ist noch eine Überkreuzung der Halbwertschicht - Kurven feststellbar; hier jedoch erst bei über 150 kV. Von 20 cm Wasserschicht an (Abb. 5 und 6) kommt es nicht mehr zu Überschneidungen der Halbwertschicht - Kurven; es ist aber festzustellen, daß die absolute Zunahme der Härte der Streustrahlen mit steigender Härte der Primärstrahlung umso geringer wird, je größer die durchstrahlte Schichtdicke ist. Während bei 2 cm Wasserschicht die Halbwertschicht der Streustrahlung bei 200 kV das Sechsfache der Halbwertschicht bei 50 kV beträgt, ist bei Durchstrahlung von Wasserschichten zwischen 20 und 30 cm Wasserschichtdicke nur noch eine Zunahme auf das Dreifache festzustellen.

kV	50	90	120	150	200
HWS	AL	AL	AL	CU	CU
2	2,25	5,9	8,4	0,55	0,58
4	2,3	6,1	8,0	0,46	0,56
6	2,5	6,0	7,2	0,41	0,55
8	2,8	6,0	7,4	0,38	0,50
10	2,9	6,4	7,5	0,35	0,48
12	3,0	7,1	7,8	0,31	0,46
14	3,1	7,4	8,2	0,34	0,45
16	3,2	7,7	8,7	0,35	0,41
18	3,5	7,9	9,2	0,37	0,42
20	3,9	8,2	10,0	0,425	0,45
22	4,5	8,4	10,5	0,45	0,485
24	5,1	8,6	10,9	0,488	0,5
26	5,5	8,7	11,2	0,52	0,54
28	6,0	9,0	11,5	0,56	0,605
30	6,5	9,3	11,9	0,603	0,685

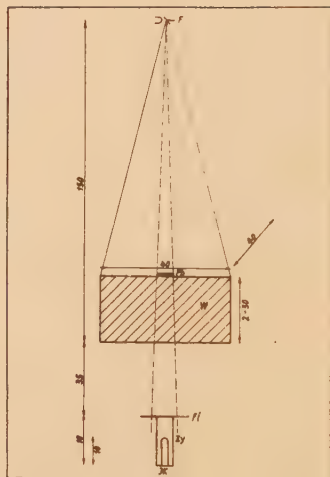


Abb. 1 Versuchsanordnung

F	Röhrenbrennfleck
Pb	Bleifilter zur Ausschaltung der Primärstrahlung.
F1	Filter zur Halbwertschichtmessung.
Zy	Bleiarmierter Aluminiumzylinder.
Ik	Jonisationskammer

Entfernungen in cm.

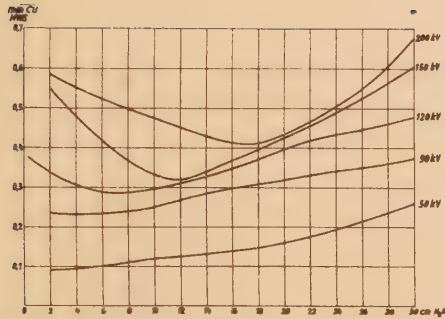


Abb. 2 Halbwertschicht der Streustrahlung in Abhängigkeit von der durchstrahlten Wasserschicht.

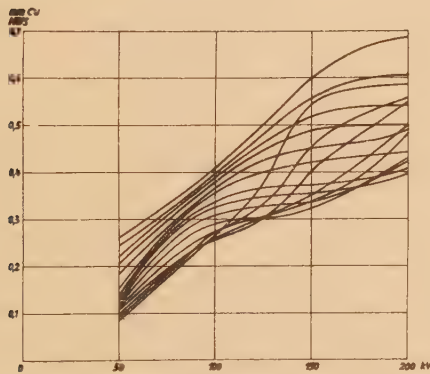


Abb. 3 Halbwertschicht der Streustrahlung in Abhängigkeit von der Aufnahmespannung. Die einzelnen Kurven beziehen sich auf durchstrahlte Wasserschichten von 2 - 30 cm. (siehe Abb. 4 bis 6)

Abb. 4 - 6

Halbwertschicht der Streustrahlung in Abhängigkeit von der Aufnahmespannung bei verschiedenen Wasserschichten.

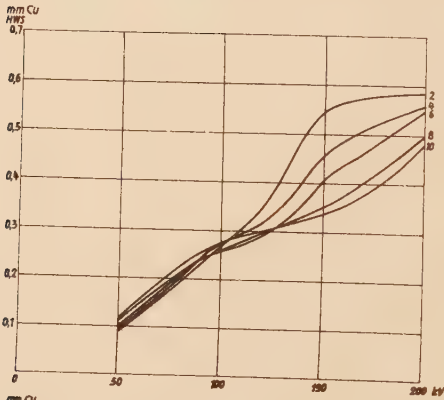


Abb. 4 2 - 10 cm Wasser

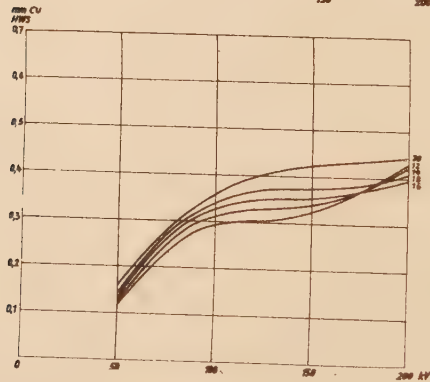


Abb. 5 12 - 20 cm Wasser

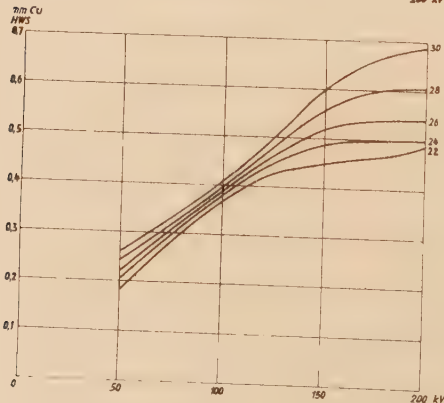


Abb. 6 22 - 30 cm Wasser

Diskussion der Ergebnisse.

Wenn man die Bedeutung der geschilderten Messergebnisse beurteilt, muß man sich zunächst darüber klar werden, welcher Teil der aus dem Objekt austretenden Strahlung mit der von uns benutzten Versuchsanordnung tatsächlich erfaßt wird. Da das Feld so groß gewählt wurde, daß das gesamte durchstrahlte Wasserphantom im Strahlenkegel der Primärstrahlung lag, ist die gemessene Strahlung mit Sicherheit ein Teil der aus dem Objekt austretenden Nutzstrahlung. Die Dicke des zur Ausscheidung der Primärstrahlung benutzten Bleifilters gewährleistet - wie vergleichende Messungen gezeigt haben - eine genügende Ausschaltung der Primärstrahlung, sodaß also tatsächlich nur Streustrahlen gemessen wurden.

Andererseits handelt es sich aber sicher nicht um die gesamte Streustrahlung. Durch den gewählten relativ großen Abstand zwischen dem Austrittsfeld am Phantom und der Messkammer, sowie durch die enge Begrenzung der auf die Messvorrichtung fallenden Streustrahlenbündel durch eine Kollimator-artige Vorrichtung werden die ungerichteten Anteile der Streustrahlung weitgehend ausgeschaltet. Der größte Einfallswinkel der auf die Messkammer fallenden Strahlung beträgt gegenüber der Richtung des Zentralstrahles nur 15 Grad.

Hierdurch wird auch gewährleistet, daß nur Streustrahlung aus den dem Zentralstrahl nahen Phantomabschnitten erfaßt wird, während die Streustrahlenanteile aus dem

Gebiete in der Nähe des Phantomrandes, wo die Verhältnisse zweifellos noch unübersichtlicher werden, nicht mit erfaßt werden.

Für praktische Folgerungen aus den Messergebnissen ist die Beschränkung auf den gerichteten Anteil der Streustrahlung zweifellos zweckmäßig, da bei der praktischen Anwendung der Hartstrahltechnik in der Röntgendiagnostik die ungerichteten Anteile der Streustrahlung durch Rasterblenden ohnehin weitgehend vermindert werden. Hierdurch verliert die ungerichtete Streustrahlung für die Klärung der Ursache der Änderung des Bildcharakters bei der Hartstrahltechnik an Bedeutung.

Da die Erfahrung der Praxis gezeigt hat, daß die Änderung des Bildcharakters bei Aufnahmen von Objekten mit überwiegenden Dichtekontrasten (z. B. eine Thoraxaufnahme) mit zunehmender Aufnahmespannung etwa bei 100 kV eintritt, ist nun festzustellen, ob unsere Messungen einen Anhalt dafür geben, daß sich gerade in diesem Spannungsbereich eine Änderung des Verhaltens der Halbwertschicht in Abhängigkeit von der durchstrahlten Schichtdicke bemerkbar macht. Die Messungen von S o u l t o g i a n n i s haben gezeigt, daß sich die Qualität der aus dem Objekt austretenden Gesamtstrahlung mit zunehmender Dicke der durchstrahlten Wasserschicht bei verschiedenen Strahlenqualitäten in sehr unterschiedlichem Ausmaß ändert.

Wenn man davon ausgeht daß der Begriff "Strahlungsrelief" für die Austrittsstrahlung besser in die zwei Begriffe "Dosisrelief" und "Qualitätsrelief" aufgegliedert wird (S o u l t o g i a n n i s) so kann man sagen, daß das Qualitätsrelief gegenüber dem Dosisrelief umso mehr an Bedeutung verliert, je härter die benutzte Primärstrahlung ist. Die von S o u l t o g i a n n i s

festgestellte Abflachung des Qualitätsreliefs erfolgt nun aber bei nicht zusätzlich gefilterter Strahlung eigentlich erst über 150 kV. Wahrscheinlich besteht dabei die Vermutung zu Recht, daß bei medizinischen Aufnahmeobjekten, die im Gegensatz zu dem benützten Phantom eine wesentlich größere Inhomogenität aufweisen, die Abflachung des Qualitätsreliefs bereits etwa bei 100 kV erfolgt. Ein Beweis hierfür konnte indessen durch die Messungen dieses Autors noch nicht erbracht werden. Es erscheint deshalb besonders bemerkenswert, daß unsere Messungen der gerichteten Streustrahlung für die interessierenden Wasserschichten bis etwa 12 cm bis 14 cm Wasser eine Änderung des Verhaltens der Streustrahlenqualität bereits bei 100 kV wahrscheinlich machen. S o u l t o g i a n n i s hat auch noch aus zusätzlichen Messungen des Primärstrahlenanteils der Austrittsstrahlung Kalkulationen über das Verhalten der Qualität der ungerichteten Streustrahlung angestellt und dabei für alle untersuchten Spannungen bis 200 kV bei Eigenfilterung der Röhre einen kontinuierlichen Anstieg der Streustrahlenqualität mit der durchstrahlten Schichtdicke errechnet. Wenn man diese Rechnung mit unseren Messungen vergleicht, so zeigt sich, daß offenbar erhebliche Qualitätsunterschiede zwischen der gerichteten und ungerichteten Streustrahlung bestehen.

Die Erklärung des unterschiedlichen Verhaltens der beiden Streustrahlenkomponenten stößt bei dem von uns benutzten Messverfahren auf gewisse Schwierigkeiten, sodaß hier nur Anregungen gegeben werden können, die durch Untersuchung mit komplizierten, unsere Möglichkeiten übersteigenden

Messverfahren überprüft werden müssen. Man kann vermuten, daß die ungerichtete Streustrahlung, die sich außerhalb des Phantoms messen lässt, zum großen Teil aus den der Austrittsebene nahen Objekt - beziehungsweise Phantomteilen stammt. Die ungerichtete Streustrahlung aus den fokusnäheren Objektteilen muss schon innerhalb des Objektes so große Wege zurücklegen, daß sie wahrscheinlich zum größten Teil entweder bereits im Objekt absorbiert wird, oder zumindest außerhalb des Strahlenkegels aus dem Objekt austritt, sodaß sie keinen nennenswerten Einfluß auf die Qualität der Austrittsstrahlung erzielen kann. Wenn also die ungerichtete Streustrahlung nur aus den fokusfernen Objektteilen stammt, so ist es ohne Weiteres erklärlich, daß ihre Härte mit zunehmender Dicke der durchstrahlten Wasserschicht in dem von uns untersuchten Spannungsbereich ansteigt, da bei zunehmender Objektdicke die die Streustrahlung hervorrufende Primärstrahlung durch die fokusnäheren Objektteile in zunehmendem Maße aufgehärtet wird.

Ähnlich muß man sich auch das Verhalten der gerichteten Anteile der Streustrahlung bei geringerer Härte der Eintrittsstrahlung vorstellen. Hier sind ebenfalls wegen der geringen Durchdringungsfähigkeit der Primärstrahlung und der damit geringeren durchschnittlichen Härte der Streustrahlung im Austrittsfeld nur diejenigen Streustrahlenanteile messbar, die aus den fokusfernen Objektteilen stammen.

Bei größerer Härte der Eintrittsstrahlen kann man sich hingegen vorstellen, daß infolge der ebenfalls größeren Härte der gerichteten Streustrahlung auch noch Teile

derselben, die in fokusnahen Objektabschnitten entstehen, das gesamte Objekt durchdringen. Diese werden dann infolge der geringeren "Vorfilterung" der Primärstrahlung durch das Phantom in den fokusnahen Objektteilen weicher sein. Auch die gerichtete Streustrahlung aus den fokusfernen Schichten kann dadurch die durchschnittliche Härte der gesamten Streustrahlung im Austrittsfeld erniedrigen.

Gelangt man zu sehr großen Objektdicken, so werden auch bei härterer Primärstrahlung die in den fokusnahen Objektteilen entstehenden weicherer Anteile der gerichteten Streustrahlung nicht mehr aus dem Objekt austreten können. Der Hauptteil der messbaren gerichteten Streustrahlung hinter dem Objekt entstammt unter diesen Bedingungen wieder den fokusfernen Objektteilen und wird durch eine von dem Objekt aufgehärtete Primärstrahlung erzeugt. Hierdurch ist es erklärbar, daß die Halbwertschicht der gerichteten Streustrahlung auch bei den höheren von uns untersuchten Spannungen bei großer Objektdicke wieder ansteigt.

Es lässt sich allerdings mit unseren Mitteln nicht entscheiden ob diese Erklärung für die beobachteten Phänomene ausreicht, oder ob hierfür noch die Entstehung tertiärer oder quartärer Strahlung im Objekt verantwortlich ist.

Weiterhin muß nochmals darauf hingewiesen werden, daß bei unseren praxisnahen Messmethoden der Ausschluß methodischer Fehler nie mit völliger Sicherheit gelingen wird. Wir glauben dennoch unseren Ergebnissen

eine praktische Bedeutung zumessen zu können, da sie hinsichtlich der zur Erzielung eines "Hartstrahleffektes" erforderlichen Spannung gut mit den Erfahrungen der medizinischen Röntgendiagnostik übereinstimmen. Die Änderung des Bildcharakters bei Spannungserhöhung auf 100 kV und mehr ist zweifellos ein überaus komplexes Phänomen. Umsomehr ist es erforderlich, hier die einzelnen Teilursachen aufzudecken. Unter Einschluß unserer Messergebnisse kann man jetzt vier Gründe für den "Hartstrahlbildcharakter" angeben:

- 1.) Die stärkere Durchdringungsfähigkeit härterer Primärstrahlung.
- 2.) Das Zurücktreten der Ordnungszahl-Kontraste hinter die Dichte-Kontraste.
- 3.) Die Abflachung des Qualitätsreliefs der Austrittsstrahlung.
- 4.) Die Änderung des Verhaltens der Qualität der gerichteten Streustrahlung.

Die Zukunft wird lehren, welcher dieser Gründe die größte praktische Bedeutung besitzt. Mit der Erhöhung der Aufnahmespannung werden ja nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile erkauft:

erhöhte Anforderung an Strahlenschutz am Gerät, verstärkte Streustrahlung im Raum und gelegentlich erhöhte Gonadendosis. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß sich bei genauerer Kenntnis der Ursachen des Hartstrahlbildcharakters an Stelle der Spannungserhöhung andere Wege finden lassen, um die gleichen erwünschten

Bildeigenschaften ohne die Nachteile hoher Aufnahmespannungen zu erreichen.

Zusammenfassung:

An einem Wasserphantom wurden Messungen des Streustrahlenanteils der Austrittsstrahlung bei Aufnahmespannungen von 50 bis 200 kV mit Eigenfilterung der Röhre und bei Wasserschichten von 2 - 30 cm vorgenommen. Die gewählte Messanordnung erfasste vorwiegend die gerichteten Anteile der Streustrahlung.

Es ergab sich, daß die Änderung der Qualität der gerichteten Streustrahlung mit der Objektdicke stark von der Primärstrahlenqualität abhängt. Von etwa 100 kV Aufnahmespannung aufwärts erfolgt bis zu Schichtdicken von etwa 16 cm Wasser zunächst eine Aufweichung der gerichteten Streustrahlung, während bei größeren Schichtdicken wieder ein Anstieg der Halbwertschicht zu verzeichnen ist. Im "Weichstrahlgebiet" nimmt dagegen die Härte der gerichteten Streustrahlen mit zunehmender Dicke der durchstrahlten Wasserschicht kontinuierlich zu. In dem geschilderten unterschiedlichen Verhalten der Streustrahlenqualität bei Weich- und Hartstrahltechnik wird eine weitere Ursache der Änderung des Bildcharakters bei Erhöhung der Aufnahmespannung auf mehr als 100 kV gesehen.

Literatur.

=====

B u c h h e i m, C.E.: Vortrag auf der Frühjahrstagung der Bayr. Röntgenvereinigung in Nürnberg 13.5.1957 -
 C o c c h i, U.: Fortschr. Röntgenstr. 81 (1954) : 24 -
 C e n, M. und W. F r i k : Fortschr. Röntgenstr. 88 (1958) : 465 - F r i k, W., H. G a j e w s k i, F. W a c h s m a n n und C.E. B u c h h e i m : Fortschr. Röntgenstr. 83 (1955) : 330 - F r i k, W. und B u c h h e i m, C.W.: Verbesserungen der diagnostischen Ergibigkeit von Thoraxaufnahmen durch Hartstrahltechnik. Wiss. Ausstellung auf dem 8. Internat. Radiologenkongress in Mexiko 22. - 28.7.1956 - F r i k, W. und C.E. B u c h h e i m : Beitr. Klin. Tbk. 117 (1957) : 138 - G a j e w s k i, H.: Fortschr. Röntgenstr. 80 (1954) : 643 und Röntgenblätter 6 (1953) : 53 - M a t t s o n, O.: Acta radiol. (Stockh.) Suppl 120 (1955) - M a t t s o n, O.: Acta radiol. (Stockh.) 46 (1956) : 621 - S o u l t o g i a n n i s, N.: Diss. Erlangen 1958.

Lebenslauf:

Am 13.3.1932 wurde ich als erster Sohn des Bauingenieurs Wilhelm Böcklein und seiner Ehefrau Emma Böcklein geboren. Vom Frühjahr 1938 bis Herbst 1943 besuchte ich die Volksschule zu Nürnberg. 1945 trat ich in die Dürer Oberschule Nürnberg über, an der ich am 14.8.1953 mein Reifezeugnis erhielt. Anschließend studierte ich an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen Zahnmedizin und bestand am 19.8.1958 das zahnmedizinische Staatsexamen. Zur Zeit bin ich als Assistent bei einem Zahnarzt in Windsheim tätig.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Privatdozent
Dr. W. F r i k , Leiter der Diagnostischen
Röntgenabteilung der Medizinischen Universitäts-
klinik Erlangen für die Überlassung des
Themas und die wertvolle Unterstützung bei der
Ausführung dieser Arbeit.



